

METHOD AND SYSTEM FOR DETECTING VISUAL AXIS

Publication number: JP2002102172

Publication date: 2002-04-09

Inventor: MATSUDA KEIJI; NAGAMI TAKESHI

Applicant: NAT INST OF ADV IND & TECHNOL; MATSUDA KEIJI;
NAGAMI TAKESHI

Classification:

- international: **A61B3/113; G01B11/00; G01B11/24; G01B11/255;**
A61B3/113; G01B11/00; G01B11/24; (IPC1-7):
A61B3/113; G01B11/00; G01B11/24; G01B11/255

- european:

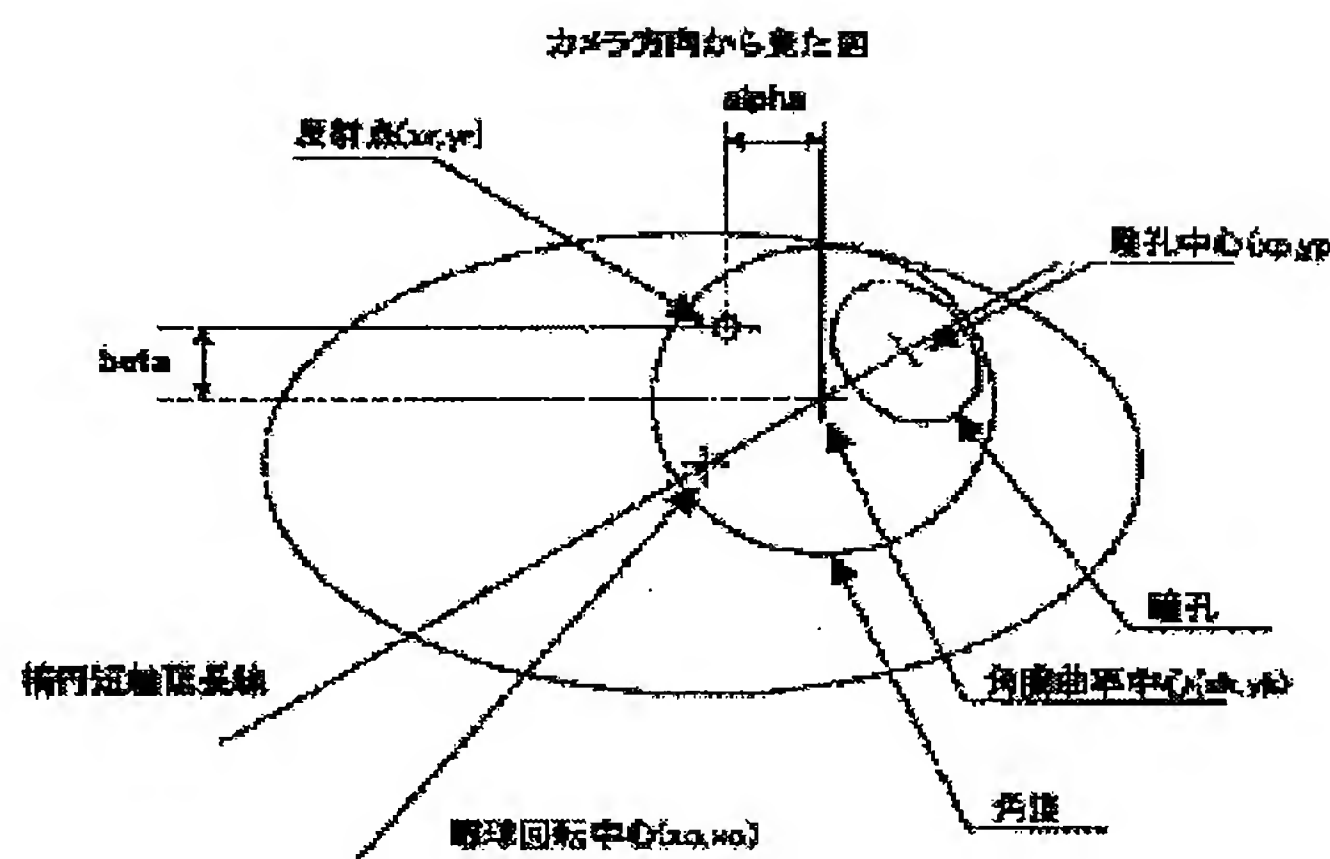
Application number: JP20010114581 20010412

Priority number(s): JP20010114581 20010412; JP20000228163 20000728

Report a data error here

Abstract of JP2002102172

PROBLEM TO BE SOLVED: To certainly measure the center-of-gravity position of reflected light even if the size of a reflecting point is small or there are a plurality of reflecting points. **SOLUTION:** The shape of reflected light and the shape of the pupil are measured by taking in a plurality of images to calculate the center-of-gravity position of reflected light, the inclination of a short axis due to the oval approximation of the pupil, a short axis/long axis ratio and the center of the pupil. When the center-of-gravity position of reflected light and the corner are set to a part of a sphere, the positional relation of the center of curvature of the cornea being the center of the sphere and the distance between a center-of-rotation of the eyeball and the center-of-curvature of the cornea being a steady point at the time of rotation of the eyeball are measured and, when a reflecting position is calculated, the center-of-gravity positions (r_x , r_y) of reflected light are estimated from pupil center positions (x_p , y_p), eyeball center-of-rotation positions (x_o , y_o), the distances (α , β) with the position of the center of curvature of the cornea being the center of the sphere when the center-of-gravity position of reflected light and the cornea are set to a part of the sphere, a pupil center rotary radius (r) and the center rotary radius (rr) of the curvature of the cornea and only the vicinity thereof is searched to measure the center-of-gravity position of reflected light.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-102172

(P2002-102172A)

(43) 公開日 平成14年4月9日(2002.4.9)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト* (参考)
A 6 1 B	3/113	G 0 1 B 11/00	H 2 F 0 6 5
G 0 1 B	11/00	A 6 1 B 3/10	B
	11/24	G 0 1 B 11/24	K
	11/255		M

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2001-114581(P2001-114581)
(22) 出願日 平成13年4月12日(2001.4.12)
(31) 優先権主張番号 特願2000-228163(P2000-228163)
(32) 優先日 平成12年7月28日(2000.7.28)
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 301021533
独立行政法人産業技術総合研究所
東京都千代田区霞が関1-3-1
(71) 出願人 500351435
松田 圭司
茨城県つくば市梅園1-1-1 独立行政
法人産業技術総合研究所 つくば中央第2
事業所内
(71) 出願人 500351310
永見 武司
茨城県つくば市梅園1-1-1 独立行政
法人産業技術総合研究所 つくば中央第2
事業所内

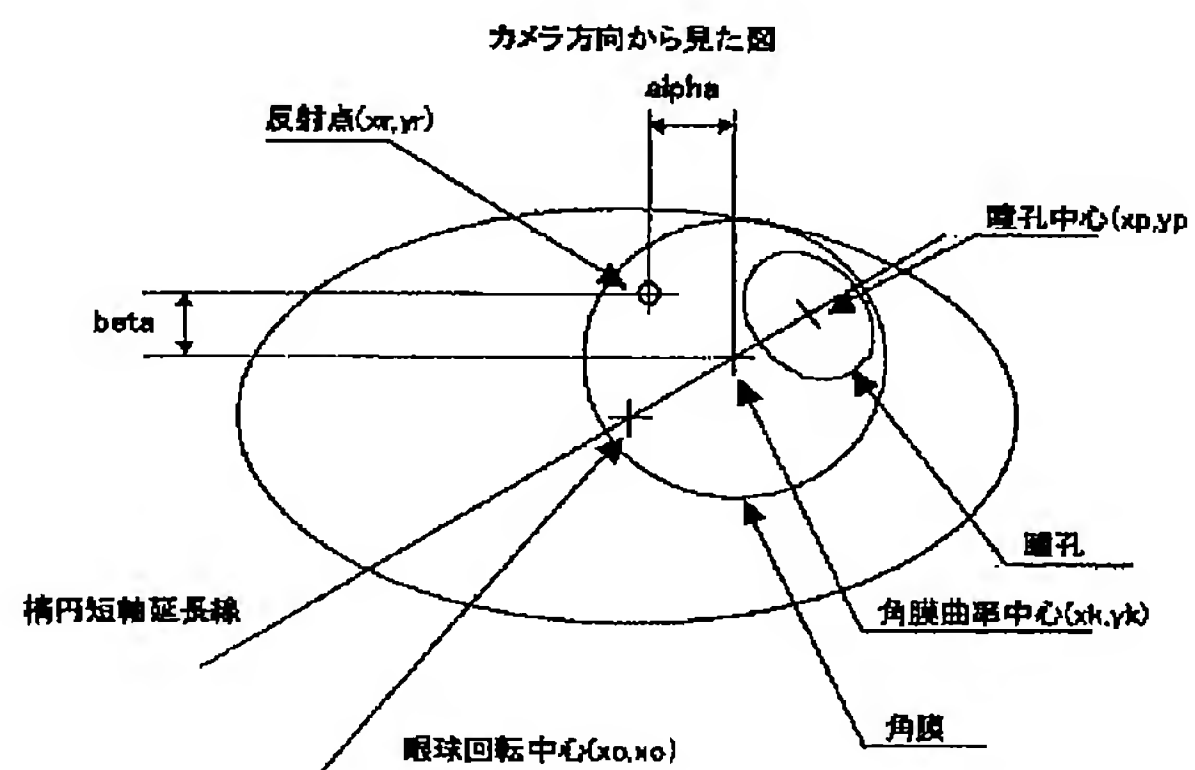
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 視線検出方法及びシステム

(57) 【要約】

【課題】 反射点の大きさが小さい場合、或いは反射点
が複数ある場合にも、誤り無く反射光重心位置を計測す
ることを目的としている。

【解決手段】 本発明は、複数の画像を取り込んで、反
射光形状及び瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、及
び瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸
比、及び瞳孔中心を計算する。反射光重心位置と角膜を
球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置
関係及び眼球が回転する際の不動点である眼球回転中心
-角膜曲率中心距離を計測し、その後、反射位置を求め
る際に、瞳孔中心位置(xp,yp)、眼球回転中心位置(xo,y
o)、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中
心である角膜曲率中心の位置との距離(alpha,beta)、瞳
孔中心回転半径(r)、角膜曲率中心回転半径(rr)か
ら反射光重心位置(rx,ry)を予測し、その近傍のみを探
すことにより反射光重心位置を計測する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 頭部が固定された被験者において、反射位置が角膜上に位置するように配置された光源により照明された瞳孔を撮影可能のカメラによって、複数の画像を取り込み、それぞれの画像について、反射光形状及び瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、及び瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸比、及び瞳孔中心を計算して、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置関係及び眼球が回転する際の不動点である眼球回転中心-角膜曲率中心距離を計測し、その後、反射位置を求める際に、瞳孔中心位置(xp,yp)、眼球回転中心位置(xo,yo)、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置との距離(alpha,beta)、瞳孔中心回転半径(r)、角膜曲率中心回転半径(rr)から反射光重心位置(rx,ry)を予測し、その近傍のみを探すことにより反射光重心位置を計測する方法。

【請求項 2】 被験者において、反射位置が角膜上に位置するように配置された光源により照明された瞳孔を撮影可能のカメラによって、複数の画像を取り込み、それぞれの画像について、反射光形状及び瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、及び瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸比、及び瞳孔中心を計算して、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置関係及び眼球が回転する際の不動点である眼球回転中心-角膜曲率中心距離を計測し、その校正時に、反射光の幅、高さを記録し、以後の反射光重心計測の際に、幅高さの値を比較することによって、不正な反射光を取り除く方法。

【請求項 3】 被験者において、反射位置が角膜上に位置するように配置された光源により照明された瞳孔を撮影可能のカメラによって、複数の画像を取り込み、それぞれの画像について、反射光形状及び瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、及び瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸比、及び瞳孔中心を計算して、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置関係及び眼球が回転する際の不動点である眼球回転中心-角膜曲率中心距離を計測し、計測された値と反射光重心と瞳孔中心位置を用いて視線位置計測する方法と計測された値と瞳孔中心位置を用いて視線位置計測する方法を自動的に切り替えて視線位置計測を行う方法。

【請求項 4】 被験者において、反射位置が角膜上に位置するように配置された光源により照明された瞳孔を撮影可能のカメラによって、複数の画像を取り込み、それぞれの画像について、反射光形状及び瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、及び瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸比、及び瞳孔中心を計算して、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置関係及び眼球が回転する際の不

動点である眼球回転中心-角膜曲率中心距離を計測し、瞳孔中心位置(xp,yp)、反射光重心位置(rx,ry)、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置との距離(alpha,beta)、瞳孔中心回転半径(r)、角膜曲率中心回転半径(rr)から眼球回転中心(xo,yo)を計算し、頭部の動きを検出し、新たな眼球回転中心を設定することにより、瞳孔中心位置を用いて視線位置計測を行う際に、頭部の動きのズレを補正する方法。

10 【請求項 5】 被験者において、反射位置が角膜上に位置するように配置された光源により照明された瞳孔を撮影可能のカメラによって、複数の画像を取り込み、それぞれの画像について、反射光形状及び瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、及び瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸比、及び瞳孔中心を計算して、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置関係及び眼球が回転する際の不動点である眼球回転中心-角膜曲率中心距離を計測し、NTSCにおける入力の際は、前述の計測値は、フィールド毎に独立に計測し、その値を用いて視線位置計測を行う方法。

【請求項 6】 請求項 1～5 のいずれかに記載の方法において、被験者の眼球が撮影された画像から、瞳孔を検出する際に、瞳孔の縁を検出する場合と異なった閾値を用いて画像処理をする方法。

20 【請求項 7】 請求項 1～5 のいずれかに記載の方法において、瞳孔の縁を楕円で近似する際に、検出した楕円の軌跡との距離を用いて、瞳孔の縁を再度検出し、その値を組み込んで再度楕円で近似することにより、高精度で瞳孔を楕円で近似する方法。

30 【請求項 8】 請求項 1～5 のいずれかに記載の方法において、瞳孔の縁を検出し、瞳孔を楕円で近似した後、検出した瞳孔の縁の範囲と、楕円で近似した際の瞳孔の範囲を比較し、どの程度目蓋が開いていたかを計測する方法。

40 【請求項 9】 請求項 1～5 のいずれかに記載の方法において、楕円の縁を検出し、瞳孔を楕円で近似した後、検出した瞳孔の範囲に対する、検出した縁の割合を計算し、どのくらいの精度で検出できているかを計測する方法。

50 【請求項 10】 頭部が固定された被験者において、反射位置が角膜上に位置するように配置された光源により照明された瞳孔を撮影可能のカメラによって、複数の画像を取り込み、それぞれの画像について、反射光形状及び瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、及び瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸比、及び瞳孔中心を計算して、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置関係及び眼球が回転する際の不動点である眼球回転中心-角膜曲率中心距離を計測する手段と、反射位置を求める際に、瞳

孔中心位置(x_p, y_p)、眼球回転中心位置(x_o, y_o)、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置との距離(α, β)、瞳孔中心回転半径(r)、角膜曲率中心回転半径(rr)から反射光重心位置(r_x, r_y)を予測し、その近傍のみを探す手段とから成る反射光重心位置を計測するシステム。

【請求項11】 被験者において、反射位置が角膜上に位置するように配置された光源により照明された瞳孔を撮影可能のカメラによって、複数の画像を取り込み、それぞれの画像について、反射光形状及び瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、及び瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸比、及び瞳孔中心を計算する手段と、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置関係及び眼球が回転する際の不動点である眼球回転中心-角膜曲率中心距離を計測する手段とを備え、その校正時に、反射光の幅、高さを記録し、以後の反射点計測の際に、幅高さの値を比較することによって、不正な反射光を取り除くシステム。

【請求項12】 被験者において、反射位置が角膜上に位置するように配置された光源により照明された瞳孔を撮影可能のカメラによって、複数の画像を取り込み、それぞれの画像について、反射光形状及び瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、及び瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸比、及び瞳孔中心を計算する手段と、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置関係及び眼球が回転する際の不動点である眼球回転中心-角膜曲率中心距離を計測し、計測された値と反射光重心と瞳孔中心位置を用いて視線位置計測する手段と計測された値と瞳孔中心位置を用いて視線位置計測する手段を自動的に切り替えることから成る視線位置計測を行うシステム。

【請求項13】 被験者において、反射位置が角膜上に位置するように配置された光源により照明された瞳孔を撮影可能のカメラによって、複数の画像を取り込み、それぞれの画像について、反射光形状及び瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、及び瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸比、及び瞳孔中心を計算する手段と、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置関係及び眼球が回転する際の不動点である眼球回転中心-角膜曲率中心距離を計測する手段と、瞳孔中心位置(x_p, y_p)、反射光重心位置(r_x, r_y)、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置との距離(α, β)、瞳孔中心回転半径(r)、角膜曲率中心回転半径(rr)から眼球回転中心(x_o, y_o)を計算する手段とを備え、頭部の動きを検出し、新たな眼球回転中心を設定することにより、瞳孔中心位置を用いて視線位置計測を行う際に、頭部の動きのズレを補正するシステム。

【請求項14】 被験者において、反射位置が角膜上に

位置するように配置された光源により照明された瞳孔を撮影可能のカメラによって、複数の画像を取り込み、それぞれの画像について、反射光形状及び瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、及び瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸比、及び瞳孔中心を計算する手段と、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置関係及び眼球が回転する際の不動点である眼球回転中心-角膜曲率中心距離を計測する手段とを備え、NTSCにおける入力の際は、前述の計測値は、フィールド毎に独立に計測し、その値を用いて視線位置計測を行うシステム。

【請求項15】 請求項10～14のいずれかに記載のシステムにおいて、被験者の眼球が撮影された画像から、瞳孔を検出する際に、瞳孔の縁を検出する場合と異なった閾値を用いて画像処理をするシステム。

【請求項16】 請求項10～14のいずれかに記載のシステムにおいて、瞳孔の縁を楕円で近似する際に、検出した楕円の軌跡との距離を用いて、瞳孔の縁を再度検出し、その値を組み込んで再度楕円で近似することにより、高精度で瞳孔を楕円で近似するシステム。

【請求項17】 請求項10～14のいずれかに記載のシステムにおいて、瞳孔の縁を検出し、瞳孔を楕円で近似した後、検出した瞳孔の縁の範囲と、楕円で近似した際の瞳孔の範囲を比較し、どの程度目蓋が開いていたかを計測するシステム。

【請求項18】 請求項10～14のいずれかに記載のシステムにおいて、楕円の縁を検出し、瞳孔を楕円で近似した後、検出した瞳孔の範囲に対する、検出した縁の割り合いを計算し、どのくらいの精度で検出できているかを計測するシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、カメラに対する視線ベクトルを求める視線検出方法及びシステムに関する。特に、本発明は、反射光重心位置検出、反射光検出、視線検出方法の自動切り替え、頭部のズレの自動補正、NTSC信号による画像の処理、瞳孔検出、瞳孔を楕円で近似する際の精度向上、目蓋のかかり具合の検出、検出の精度の計測に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来より、視線位置を計測する簡便な視線位置計測システムが求められている。このようなシステムを、より低価格で提供することができるならば、例えば、以下のような分野に使用できると考えられる。

- 1) 視覚に関する心理学的研究
- 2) 医療検査
- 3) マンマシンインターフェース(視線入力装置)
- 4) 3)と重なるが障害者に対する補助装置。
- 5) ヘッドマウントディスプレイに内蔵し、視線入力装置として用いる。

6)装置を2台用い、カメラの位置を厳密に設定することにより、両眼の視差を受動的な校正（視標を提示して、凝視してもらうのではなく、ただ、眼を動かすだけ）で計測することができる。医療検査、心理実験、行動実験などに用いることができる。

【0003】先に、本出願人は、視線検出方法及びシステムについての提案をした（特願2000-228163）。この提案について、図1～図8を参照して説明する。CCDカメラにより、人もしくはサルの眼球を撮影する。瞳孔を暗く撮影するため、赤外線LEDにて照明を行う。カメラ、光源、及び眼球の位置関係を、図1に示す。カメラは、眼球の略水平方向の前方に位置するよう図示しているが、カメラの位置は、瞳孔が撮影できる範囲で任意の場所に設定することができる。光源も、反射位置が角膜上になる場所ならば、任意の場所に配置させることができる。CCDカメラには、図2のような映像が撮影される。

【0004】図1を簡略化して、瞳孔中心、角膜曲率中心、眼球回転中心を書き入れた図を図3に示す。簡略化した図3において、反射点が生ずる場所を図4に示す。反射点は、光源、角膜曲率中心、カメラを結ぶ角の2等分線と角膜の交わる位置に生じる。角膜曲率中心と反射点を結ぶベクトルとを反射光ベクトルと名付ける。（光源は、無限遠にあると仮定する。カメラには、平行投影されると仮定する。）

【0005】眼球が動いた時、反射点と角膜曲率中心の位置関係を図5に記す。光源が、十分遠くにあれば、角膜曲率中心への反射光ベクトルの角度は、眼球が回転しても同一になる。そのため、眼球が回転しても、角膜曲率中心と反射点の距離が一定に保たれる。図5は、x方向の距離のみを表している。図6に、カメラ方向から撮影された時の、角膜曲率中心と、反射点の位置関係を表示する。反射点、角膜曲率中心、瞳孔中心、眼球回転中心の位置関係は図7で表される。この図を、簡略化すると図8になる。

【0006】カメラにより複数の画像を取り込み、それぞれの画像について、反射光形状、瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸比、瞳孔中心を計算することができる。このような視線検出方法及びシステムには以下のような問題点があった。

i) 反射光重心位置計測について

- 1) 瞳孔中心を領域の中心とする120x90 pixelの画像を3pixel置きに取り出し40x30の画像を生成する。
- 2) ある閾値以上の点を取り出し、それを塊毎にラベルをつけてゆく。
- 3) 一定以上の大きさがあり、かつ瞳孔中心に最も近い塊の重心を測定する。という方法で行っていた。しかし、この反射光重心位置計測方法には、以下の問題点があった。

1) 反射点の大きさが小さいと、取りこぼされてしまう。

2) 反射点が複数ある場合、間違った反射点を選んでしまう（角膜上には、n次プルキニエ反射が存在する。注目しているのは、1次反射である）。

【0007】ii) 反射光選別について

上述の方法では、検出したものを全て用いていたため、選別は行っていなかった。そのため、図9にあるように、角膜上ではなく、強膜上で反射した場合の反射光を検出して計算を行ってしまう。このような場合は、反射点があるという前提がなくなり、計算結果が正確でなくなってしまう。このような場合は、計算不能とする必要がある。

【0008】iii) 自動方式切り替えについて。

先に提案した方法は、校正の後、被験者の瞳孔中心位置と反射光重心から視線位置を求めることが可能である。しかし、この方法は、頭部が動いても計測が可能という利点があるが、反射点が角膜上から外れてしまうと計測できなくなることになる。瞳孔中心のみから測定する場合に比べ測定範囲が狭い。

【0009】iv) 瞳孔中心-眼球回転中心方法の自動補正
上述の提案した方法は、頭部が動いてしまうと正確な計測ができなかった。頭部を固定して計測している場合でも、断続的なずれが生じる場合があり、その場合は再校正を行わないといけなかった。

【0010】v) 60Hzで計測を行う場合

NTSC信号を用いて計測する際に、フレーム単位で無く、フィールドにわけて計算する場合、偶数フィールドと奇数フィールドは、上下方向に互い違いになっている。先に提案した方法のようにして、眼球回転中心-角膜曲率中心距離を計測したり、或いは、カメラに対する視線ベクトルを求める場合に値（眼球回転中心位置、反射光重心位置-角膜曲率中心位置関係、瞳孔中心位置、反射点位置等）をフィールドの区別なく計算した場合、フィールド毎に上下に振動した計測値を得ることになる。

【0011】vi) 瞳孔を検出する際の閾値の複数使用について。

瞳孔の検出方法は、つぎの二段階で検出を行っている。

- 1) 8pixelごとに画像をサンプルし、瞳孔のおおまかな位置を検出する。
- 2) おおまかな楕円をもとめその近傍を探索し、瞳孔の縁を検出する。

先に提案した方法は、この二段階共に同一の閾値を用いていた。ノイズが多い場合（瞳孔と同じくらい暗い場所が多い場合）第一段階でおおまかな検出に失敗する場合があった。そのような場合は、閾値を下げることでノイズを減らすことが可能であるが、そのような処理を行うと、瞳孔の縁を正確に検出できなくなってしまうことがあった。

【0012】vii) 瞳孔の縁の検出方法について

楕円の幾何学的な性質を利用し、瞳孔の縁以外を除去する。楕円には、次のような幾何学的な性質がある。図10に示すように、楕円と交わる3本の平行な直線l、m、nを考える。l、nはmから等距離にあるとする。楕円と直線lとの交点をa、b、直線nの交点をc、dとする。楕円と直線mの交点の中点をoとする。a、bの中点とc、dの中点を結ぶ線の中点をo'すると、oはo'と重なるという性質がある。瞳孔の画像について瞳孔画像のほぼ中央に引いた直線mから等距離にあるN個の平行線の組のo_i (i=1~N)に当たる点を求める。求められた点は、直線mの上に分布する。誤って検出された縁が十分少ないときは、最も多くの点oが集まった位置がoの位置に相当する。その位置から離れている点は、楕

$$\begin{cases} A \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i^2 + B \sum_{i=1}^n x_i y_i^3 + C \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i + D \sum_{i=1}^n x_i y_i^2 + E \sum_{i=1}^n x_i y_i = - \sum_{i=1}^n x_i^3 y_i \\ A \sum_{i=1}^n x_i y_i^3 + B \sum_{i=1}^n y_i^4 + C \sum_{i=1}^n x_i y_i^2 + D \sum_{i=1}^n y_i^3 + E \sum_{i=1}^n y_i^2 = - \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i^2 \\ A \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i + B \sum_{i=1}^n x_i y_i^2 + C \sum_{i=1}^n x_i^2 + D \sum_{i=1}^n x_i y_i + E \sum_{i=1}^n x_i = - \sum_{i=1}^n x_i^3 \\ A \sum_{i=1}^n x_i y_i^2 + B \sum_{i=1}^n y_i^3 + C \sum_{i=1}^n x_i y_i + D \sum_{i=1}^n y_i^2 + E \sum_{i=1}^n y_i = - \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \\ A \sum_{i=1}^n x_i y_i + B \sum_{i=1}^n y_i^2 + C \sum_{i=1}^n x_i + D \sum_{i=1}^n y_i + E \sum_{i=1}^n 1 = - \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{cases}$$

上記の連立方程式を解くことにより、最小自乗法により以下の楕円の方程式【数2】の係数を求めることができる。

【数2】

$$x^2 + Axy + By^2 + Cx + Dy + E = 0$$

【0013】ix)瞳孔の検出の精度について(横方向に入ったノイズの割り合い)。反射光が瞳孔の縁に掛かる、ピントがずれているため瞳孔の縁が明確に捕らえられていないなどの場合の、定量的な評価が無かった。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】そこで、本発明は、係る問題点を解決して、反射点の大きさが小さい場合、或いは反射点が複数ある場合にも、誤り無く反射光重心位置を計測することを目的としている。また、本発明は、校正時に、反射点の幅と高さの平均を求め、かつ、計測時に、反射点の幅、高さと比較し大きく異なる物を排除することにより、正確に計測を行うことを目的としている。また、本発明は、瞳孔中心-反射点法で計算できなくなった場合、自動的に瞳孔中心法に切り替えることにより計測の中断をなくすことを目的としている。また、本発明は、反射点が計測できない場合であっても、再校正なしに、瞳孔中心のみで視線方向を計算することを目的としている。また、本発明は、計測に用いる値をフィールド毎に求めて、フィールド毎のばらつきをなくすることを目的としている。また、本発明は、瞳孔の縁を正

円の軌跡上にない点を含んでいることになるので、それらを除外する。どのくらい離れていたら、除外するかは、プログラムで指定することにより、許容範囲の設定が可能になる。4点が相補的に誤差を含んでしまった場合には、除外されなくなるが、確率的にそのようなことは起こりにくい。oに十分近いo_iを持つ点a_i, b_i, c_i, d_iは、楕円の軌跡上の点なので、これらの点の座標を【数1】に代入し正確な楕円近似を行うことができる。(電子情報通信学会技術研究報告書 vol.100 no.4 7「視線位置計測システムの開発」ISSN0913-5685、TL 2000-1-6「思考と言語」2000年5月12日 より抜粋)

【数1】

確に検出することを目的としている。また、本発明は、高精度に、楕円を求めることを目的としている。また、本発明は、どの程度目蓋がおりてきていたら、計測を中断するか等の定量的な評価を行うことを目的としている。また、本発明は、反射光が瞳孔の縁に掛かる、ピントがずれているため瞳孔の縁が明確に捕らえられていないなどの場合に、定量的な評価をすることを目的としている。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明の視線検出方法及びシステムは、頭部が固定された被験者において、反射位置が角膜上に位置するように配置された光源により照明された瞳孔を撮影可能のカメラによって、複数の画像を取り込み、それぞれの画像について、反射光形状及び瞳孔形状を計測して、反射光重心位置、及び瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸比、及び瞳孔中心を計算する。反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置関係及び眼球が回転する際の不動点である眼球回転中心-角膜曲率中心距離を計測し、その後、反射位置を求める際に、瞳孔中心位置(x_p, y_p)、眼球回転中心位置(x_o, y_o)、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置との距離(alpha, beta)、瞳孔中心回転半径(r)、角膜曲率中心回転半径(rr)から反射光重心位置(r_x, r_y)を予測し、その近傍のみを探索することにより反射光重心位置を計測する。

【0016】また、本発明は、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置関係及び眼球が回転する際の不動点である眼球回転中心-角膜曲率中心距離を計測し、その校正時に、反射光の幅、高さを記録し、以後の反射点計測の際に、幅高さの値を比較することによって、不正な反射光を取り除く。また、本発明は、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置関係及び眼球が回転する際の不動点である眼球回転中心-角膜曲率中心距離を計測し、計測された値と反射光重心と瞳孔中心位置を用いて視線位置計測する方法と計測された値と瞳孔中心位置を用いて視線位置計測する方法を自動的に切り替えて視線位置計測を行う。

【0017】また、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置関係及び眼球が回転する際の不動点である眼球回転中心-角膜曲率中心距離を計測し、瞳孔中心位置(xp,yp)、反射光重心位置(rx,ry)、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置との距離(alpha,beta)、瞳孔中心回転半径(r)、角膜曲率中心回転半径(rr)から眼球回転中心(xo,yo)を計算し、頭部の動きを検出し、新たな眼球回転中心を設定することにより、瞳孔中心位置を用いて視線位置計測を行う際に、頭部の動きのズレを補正する。

【0018】また、本発明は、反射光重心位置、及び瞳孔を楕円近似することにより短軸の傾き、短軸長軸比、及び瞳孔中心を計算して、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置関係及び眼球が回転する際の不動点である眼球回転中心-角膜曲率中心距離を計測し、NTSCにおける入力の際は、前述の計測値は、フィールド毎に独立に計測し、その値を用いて視線位置計測を行う。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明の視線検出方法及びシステムを例示に基づき説明する。

i) 反射光重心位置計測について

1) 図11は、反射光重心位置計測を説明するための図であり、眼球をカメラ方向から見た図であり、また、図12は、その眼球を横方向から見た図である。瞳孔中心位置(xp,yp)、眼球回転中心位置(xo,yo)、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置との距離(alpha,beta)、瞳孔中心回転半径(r)、角膜曲率中心回転半径(rr)が分かっている場合には、以下の式より反射光重心位置(rx,ry)を予測することができる。

$$rx = (xp - xo) * rr / r + xo + alpha$$

$$ry = (yp - yo) * rr / r + yo + beta$$

2) 予測点を中心とした、40x30pixelの画像を生成す

る。

3) ある閾値以上の点を取り出し、それを塊毎にラベルをつけてゆく。

4) 一定以上の大きさがあり、かつ予測に最も近い塊の重心を測定する。

【0020】図13に示す画像から、反射光重心を計測する例を考える。画面の十字は、瞳孔中心位置を表している。十字の上の白い点が、第1プルキニエ像、右下の白い点が第2プルキニエ像である。いずれも照明光の反射であるが、眼球内の反射する場所が異なるため複数の反射像が出現する。

1) 瞳孔中心位置(xp,yp)、眼球回転中心位置(xo,yo)、角膜曲率中心(alpha,beta)、瞳孔中心回転半径r、角膜曲率中心回転半径rrがすでにわかっている際、反射光重心位置(rx,ry)を上記の式より予測する。

2) 予測位置は図14のXの位置になる。Xを中心とした四角で示した40x30pixelの画像より反射光重心を求め

る。

3) ある閾値以上の点を取り出だしラベリングをおこない、一定以上の大きさがあり、重心が予測値に最も近いものを選ぶ。図15において反射光重心を十字で表した。

【0021】ii) 反射光選別について

校正時に反射点の幅と高さの平均を求める。計測時に、反射点の幅、高さと比較し大きく異なる物を排除することにより、正確に計測を行うことが可能となる。図16に示された反射点の大きさは、縦6pixel横7pixelである。これは、平均値からの差が十分に小さい。どの程度の誤差を許容するかはプログラムによって設定可能である。図17に示すように、反射光が強膜に存在するときは、大きさが大きく異なる(縦19pixel横50pixel)。この場合は、反射点を用いた計測は断念する。

【0022】iii) 自動方式切り替えについて。

瞳孔中心-反射点法で計算できなくなった場合、自動的に瞳孔中心法に切り替えることにより計測の中断をなくすることができる。反射点が強膜上に存在すると、反射点を用いた視線計測ができない。しかし、この状態でも、瞳孔中心座標の計測は可能である。瞳孔中心-眼球回転中心法により、視線方向を求めることが可能である。眼球回転中心の動きについては、自動補正により、修正を行うことにより対応する。

【0023】iv) 瞳孔中心-眼球回転中心方法の自動補正視線方向を瞳孔中心位置(xp,yp)、眼球回転中心(xo,yo)瞳孔中心回転半径rより求めることができる。カメラに対する視線方向は、以下の【数3】で表すことができる。

【数3】

$$(x, y, z) = \left(\frac{xp - xo}{r}, \frac{yp - yo}{r}, \sqrt{\frac{r^2 - (xp - xo)^2 - (yp - yo)^2}{r^2}} \right)$$

頭部が動かないときは、瞳孔回転中心(xo,yo)は、一定値である。しかし、どのように頭部を固定しても、動いてしまう場合がある。従来は、頭部が動いてしまった場合は、再度校正を行っていたが、これを、反射点を用いて自動的に校正を行う方法を提案する。瞳孔中心位置と反射光重心から眼球回転中心を求めることができる。瞳孔中心位置(xp,yp)、反射光重心位置(rx,ry)、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置との距離(alpha,beta)、瞳孔中心回転半径(r)、角膜曲率中心回転半径(rr)から眼球回転中心(xo,yo)とすると以下の式で求められる。

$$xo = (rx - \alpha - xp * rr / r) / (1 - rr / r)$$

$$yo = (ry - \beta - yp * rr / r) / (1 - rr / r)$$

反射点は、計測できない場合がある、また、断続的なズレを想定しているので、計測時以前の何秒間（設定により変更可能、20秒程度を規定値に想定）の眼球回転中心(xo,yo)の平均値をその時点の眼球回転中心とする。この値を用いることにより、再校正なしに、瞳孔中心のみで視線方向を計算することができるようになる。また、十分に短い時間ならば、頭部は動いていないと仮定できるので、瞳孔中心-反射点法が使えない場合の、補助として使用することが可能である。

【0024】v) 60Hzで計測を行う場合

それぞれ、計測に用いる値をフィールド毎に求める。具体的には、偶数フィールドと奇数フィールド毎に、瞳孔中心位置(xp,yp)、反射光重心位置(rx,ry)、反射光重心位置と角膜を球の一部としたとき球の中心である角膜曲率中心の位置との距離(alpha,beta)、瞳孔中心回転半径(r)、角膜曲率中心回転半径(rr)、眼球回転中心(xo,yo)を校正により計測する。視線を計算する場合には、奇数フィールドの画像については、奇数フィールドの画像から求めた値、偶数フィールドの画像については、偶数フィールドの画像から求めた値を用いて計算する。これにより、フィールド毎に値が振動する現象を排除できる。

【0025】vi)瞳孔を検出する際の閾値の複数使用について。

第一段階と第二段階で異なる閾値を用いることにより、その問題を解決する。明るさが変わらない場合は、それぞれ、独立な固定値設定し、自動的に閾値を変化させている場合は、第一段階の閾値(th1)と第二段階の閾値(th2)の比率(a)、(th1=a*th2という関係)を設定することにより、連続的な変化にも対応できるようにする。図18に示すように、輪郭を検出するのに必要な閾値(th2)の場合は、周辺ノイズが多い。図19に示すように、閾値(th1)を下げることにより、周辺ノイズを低減する

ことができる。

【0026】vii)瞳孔の縁の検出方法について

1) 従来の方で楕円を求める。

楕円の幾何学的な性質を利用し、瞳孔の縁以外を除去する。楕円には、次のような幾何学的な性質がある。楕円と交わる3本の平行な直線l、m、nを考える。l、nはmから等距離にあるとする。楕円と直線lとの交点をa、b、直線nの交点をc、dとする。楕円と直線mの交点の中点をoとする。a、bの中点とc、dの中点を結ぶ線の中点をo'とすると、oはo'と重なるという性質がある(図10)。

瞳孔の画像について瞳孔画像のほぼ中央に引いた直線mから等距離にあるN個の平行線の組のoi

(i=1-N)に当たる点を求める。求められた点は、直線mの上に分布する。誤って検出された縁が十分少ないときは、最も多くの点oiが集まった位置がoの位置に相当する。その位置から離れている点は、楕円の軌跡上にない点を含んでいることになるので、それらを除外する。どのくらい離れていたか、除外するかは、プログラムで指定することにより、許容範囲の設定が可能になる。4点が相補的に誤差を含んでしまった場合には、除外されなくなるが、確率的にそのようなことは起こりにくい。oに十分近いoiを持つ点ai,bi,ci,diは、楕円の軌跡上の点なので、これらの点の座標を[数1]に代入し正確な楕円近似を行うことができる。

【0027】2) 上記の場合、例えば、a12のみが、何らかの理由により楕円の軌跡上に無かったとする。すると、b12,c12,d12が楕円の軌跡上に存在するにもかかわらず、楕円の軌跡を計算するのに用いられないことになる。そこで従来方法で楕円の軌跡を求めた後、再度検出された瞳孔の縁の点について、求めた楕円軌跡との距離を計算し、その距離が一定以下であれば、瞳孔の縁とする。

3) 新たな点を加えて、最小自乗法により楕円を算出する。これにより、従来よりも高精度に、楕円を求めることが可能になる。

【0028】viii)目蓋の掛かり具合の計測法について

1) 図20に示すように、検出した瞳孔の縁から、楕円を近似し楕円の上下方向の距離(eh)を得る。

2) 検出した瞳孔の縁(楕円近似に用いたもの)の、上下方向の最大値と最小値の差(ph)を得る。

3) ph/eh*100を瞳孔検出率(%)とする。

瞳孔検出率を用いることにより、どの程度目蓋がおきた時に計測を中断するか?といった定量的な評価を行うことが可能になる。

【0029】ix)瞳孔の検出の精度について(横方向に入ったノイズの割合)。

1) 楕円近似に用いた瞳孔の縁の上下方向の最大値と最小値の差 (ph) を得る。

2) 楕円近似に用いた瞳孔の縁の数を得る (en)。

3) $(en/2) / ph * 100$ を縁検出率 (%) とする。

enは、検出の際に左右の縁を検出しているので、二等分する必要がある。縁検出率を用いることにより、どの程度正確に縁を検出できているかを定量的に評価することができる。比較的ノイズが少ない図21は、縁検出率70%である。また、ノイズが多い場合の図22は、縁検出率40%である。

【0030】

【発明の効果】本発明は、反射点の大きさが小さい場合、或いは反射点が複数ある場合にも、誤り無く反射光重心位置を計測することができる。また、本発明は、校正時に、反射点の幅と高さの平均を求め、かつ、計測時に、反射点の幅、高さと比較し大きく異なる物を排除することにより、正確に計測を行うことができる。また、本発明は、瞳孔中心-反射点法で計算できなくなった場合、自動的に瞳孔中心法に切り替えることにより計測の中断をなくすることができる。また、本発明は、反射点が計測できない場合であっても、再校正なしに、瞳孔中心のみで視線方向を計算することができる。また、本発明は、計測に用いる値をフィールド毎に求めて、フィールド毎のばらつきをなくすることができる。また、本発明は、瞳孔の縁を正確に検出することができる。また、本発明は、高精度に、楕円を求めることができる。また、本発明は、どの程度目蓋がおりてきていたら、計測を中断するかを定量的な評価を行うことができる。また、本発明は、反射光が瞳孔の縁に掛かる、ピントがずれているため瞳孔の縁が明確に捕らえられていないなどの場合に、定量的な評価をすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】カメラと目の位置関係を示す図である。

【図2】撮影された眼球を示す図である。

【図3】図1を簡略化した図である。

【図4】反射点出現位置を示す図である。

【図5】眼球が回転した時の角膜反射光重心と角膜曲率

中心の位置関係を示す図である。

【図6】眼球が回転しても角膜反射光重心と角膜曲率中心の位置関係が変化しないことを説明するための図である。

【図7】瞳孔中心、角膜曲率中心、眼球回転中心が瞳孔の短軸の延長線上に存在することを説明するための図である。

【図8】図7を簡略化した図であり、角膜反射光重心、瞳孔中心、角膜曲率中心、眼球回転中心の位置関係を表す図である。

【図9】角膜上ではなく、強膜上で反射した場合の反射光の検出を説明するための図である。

【図10】瞳孔の縁の検出方法を説明するための図である。

【図11】反射光重心位置計測を説明するための図であり、眼球をカメラ方向から見た図である。

【図12】図11に示す眼球を、横方向から見た図である。

【図13】反射光重心の計測を説明するための画像である。

【図14】反射光重心を求める方法を説明するための図である。

【図15】重心が予測値に最も近いものを選ぶ方法を説明するための図である。

【図16】反射点の大きさを説明するための図である。

【図17】強膜に存在する反射光を説明するための図である。

【図18】輪郭を検出する際の周辺ノイズを説明するための図である。

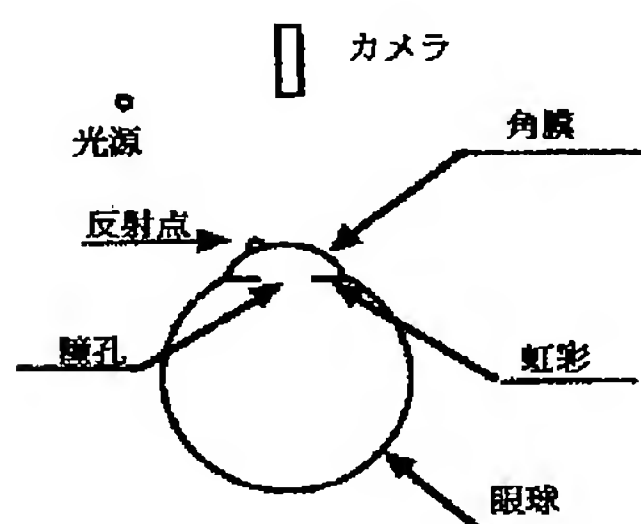
【図19】閾値 (th1) を下げることにより、周辺ノイズを低減する方法を説明するための図である。

【図20】目蓋の掛かり具合の計測法を説明するための図である。

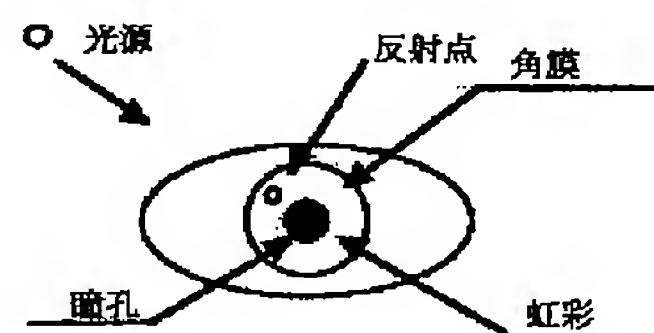
【図21】比較的ノイズが少ない場合の縁検出率を例示する図である。

【図22】ノイズが多い場合の縁検出率を例示する図である。

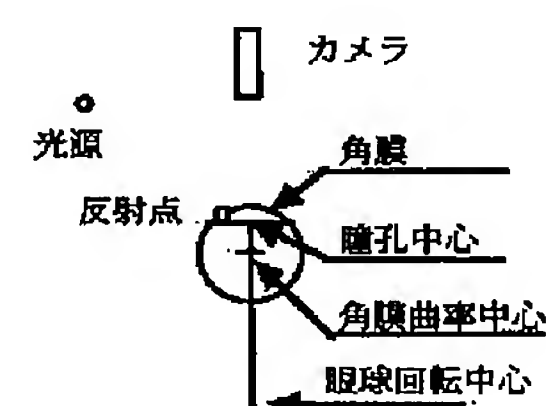
【図1】



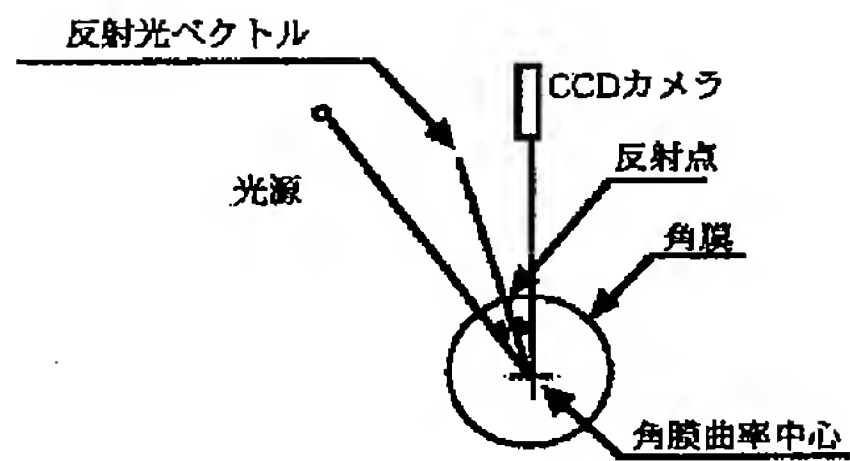
【図2】



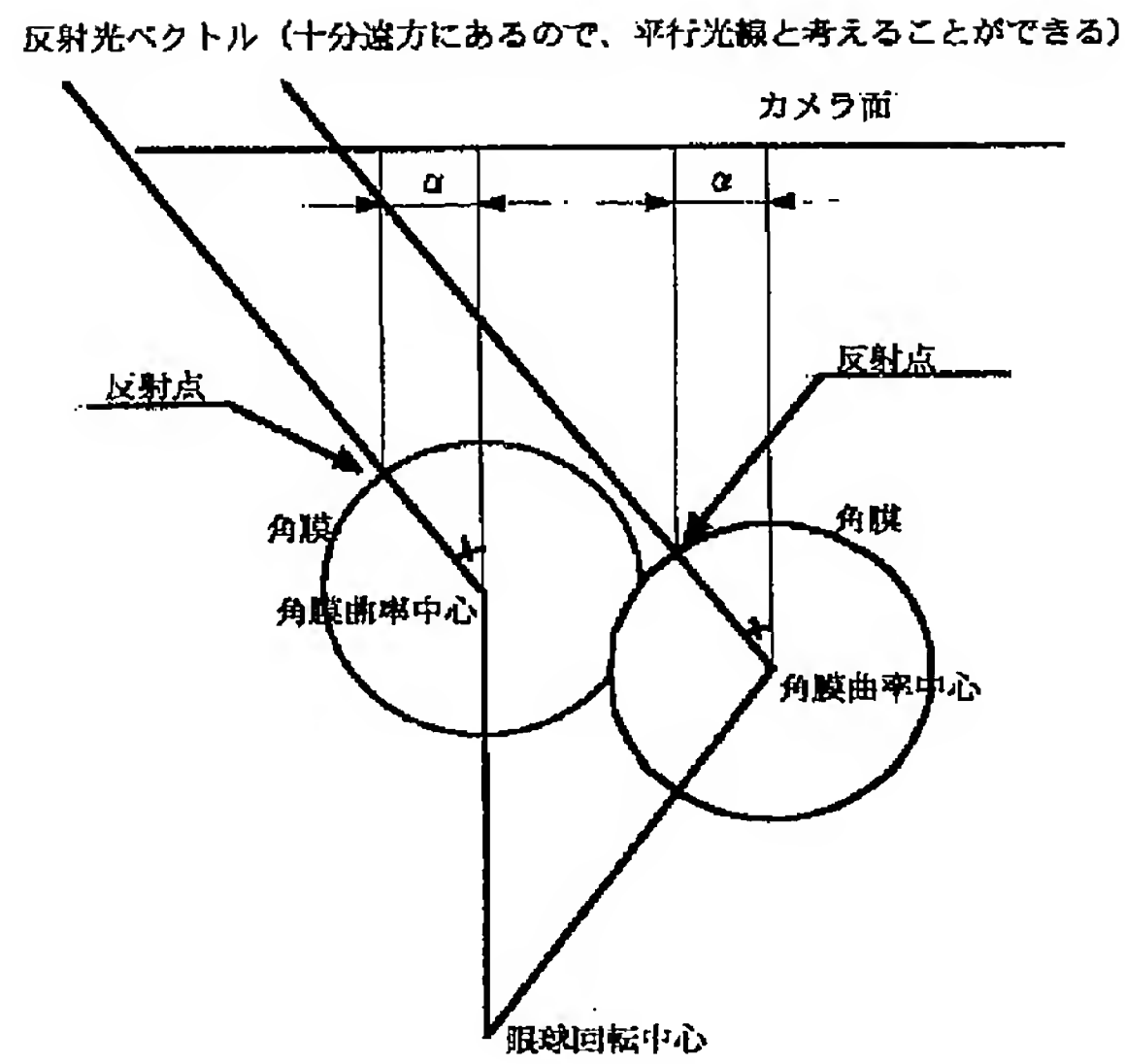
【図3】



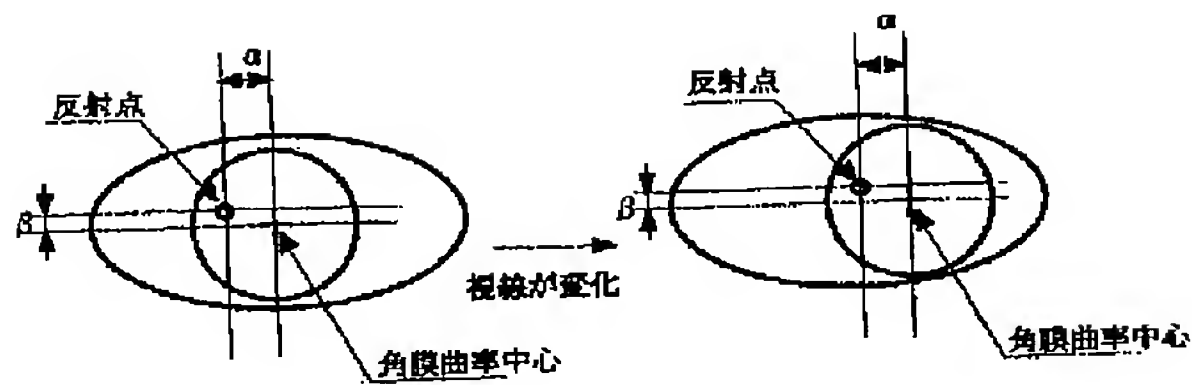
【図4】



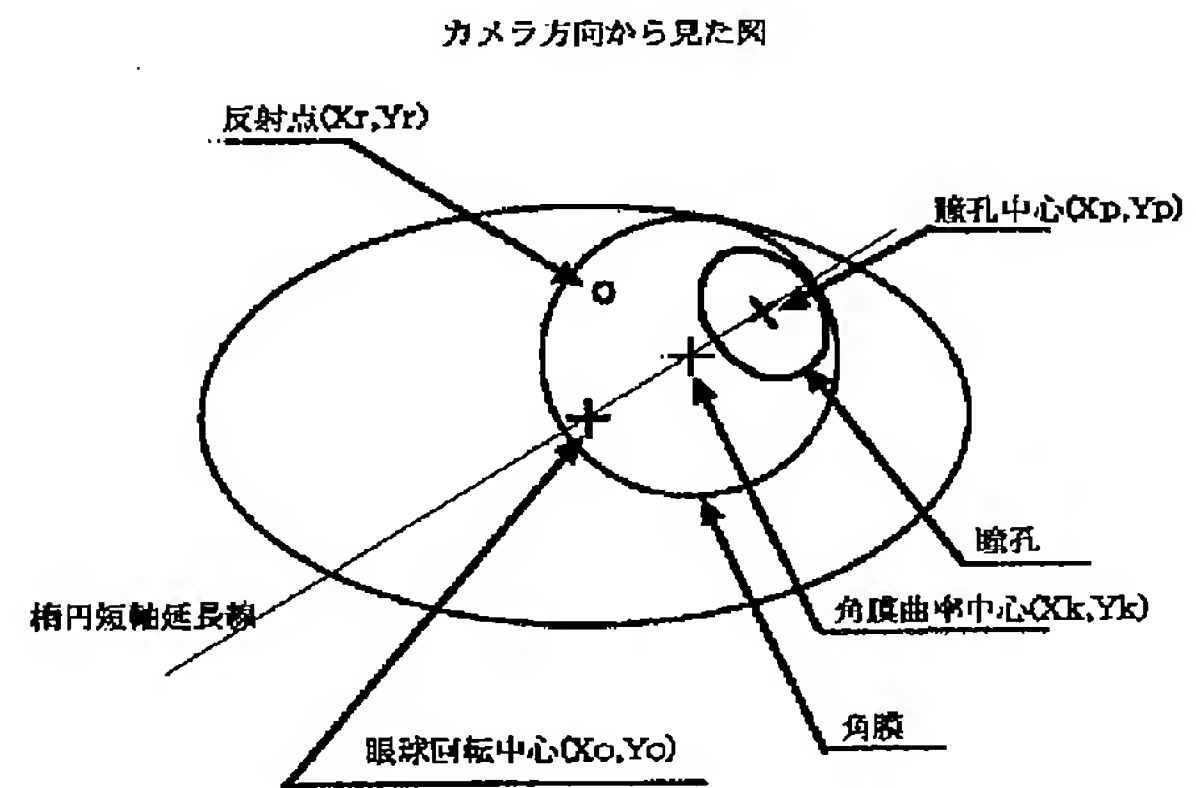
【図5】



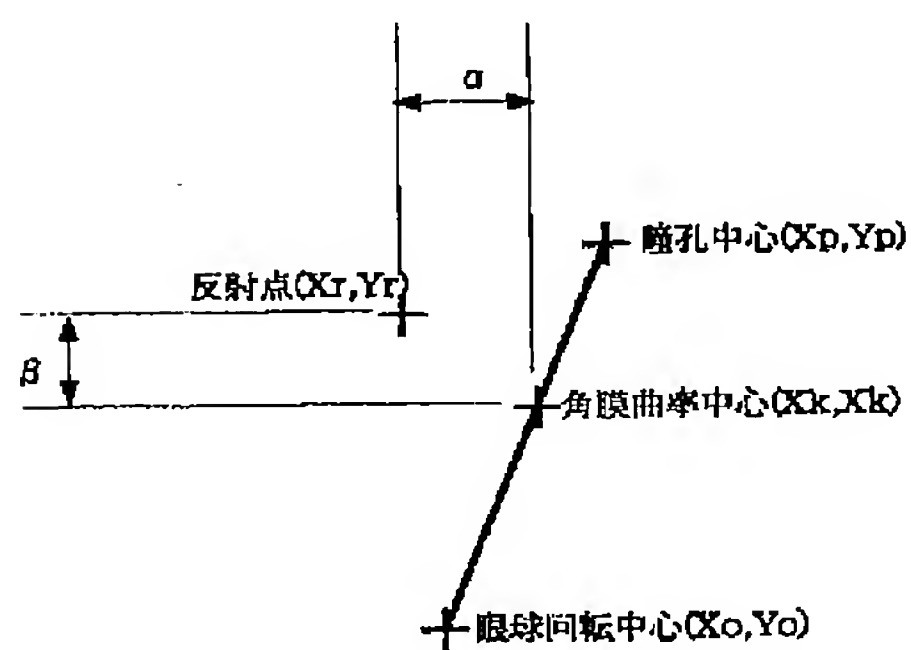
【図6】



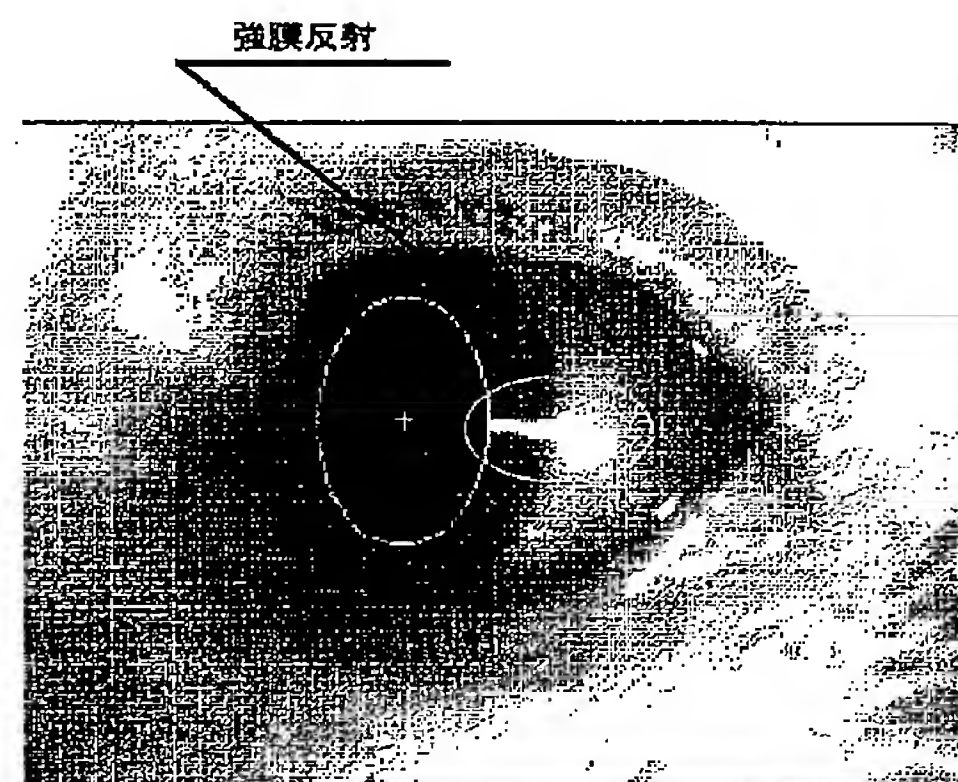
【図7】



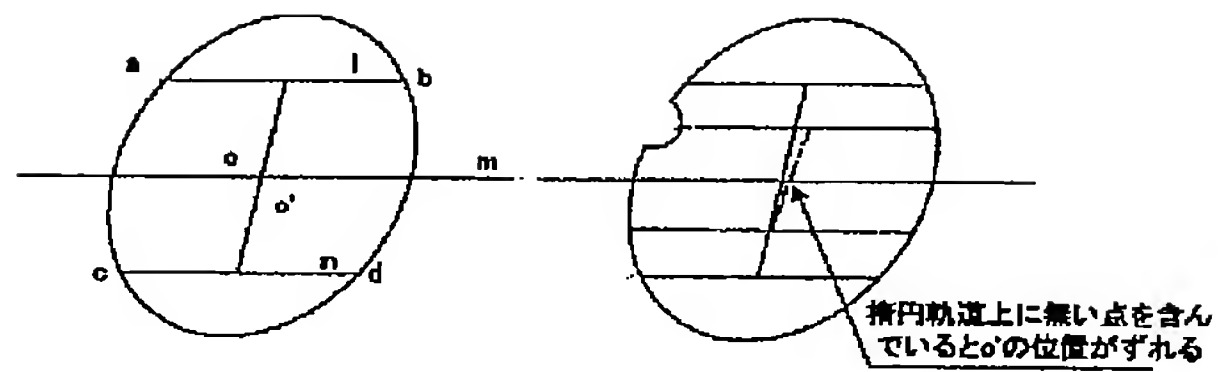
【図8】



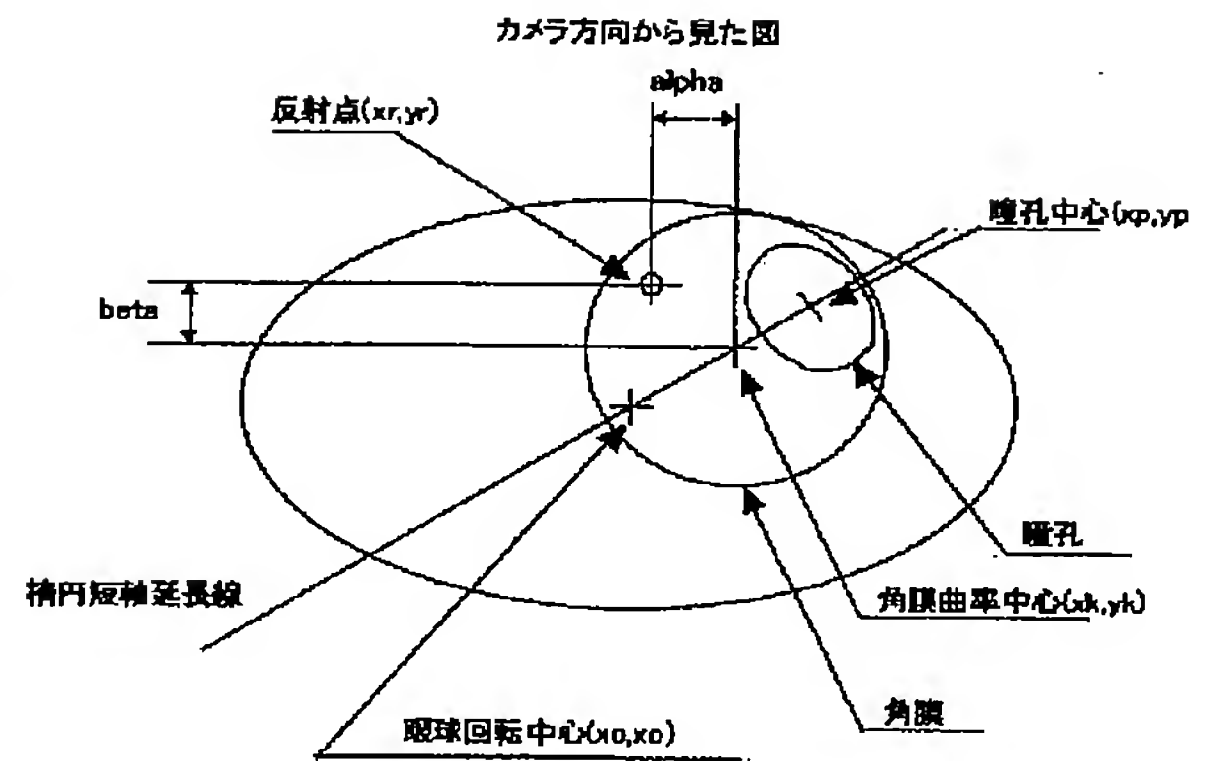
【図9】



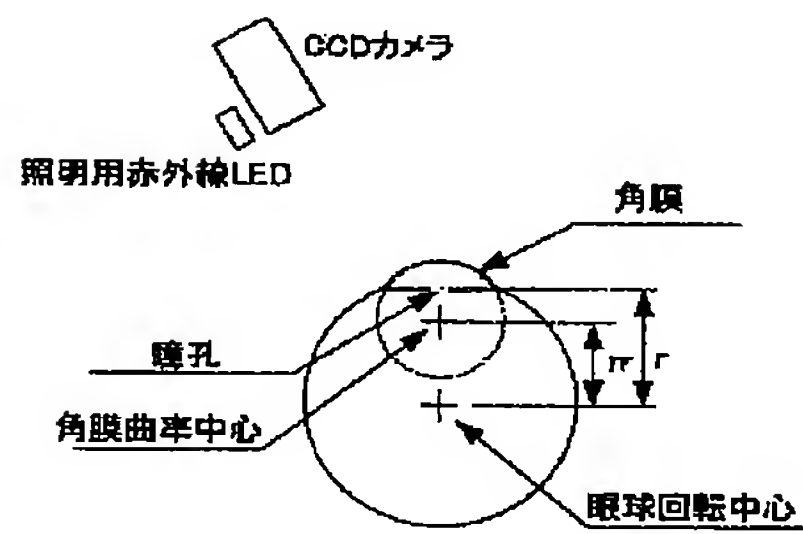
【図10】



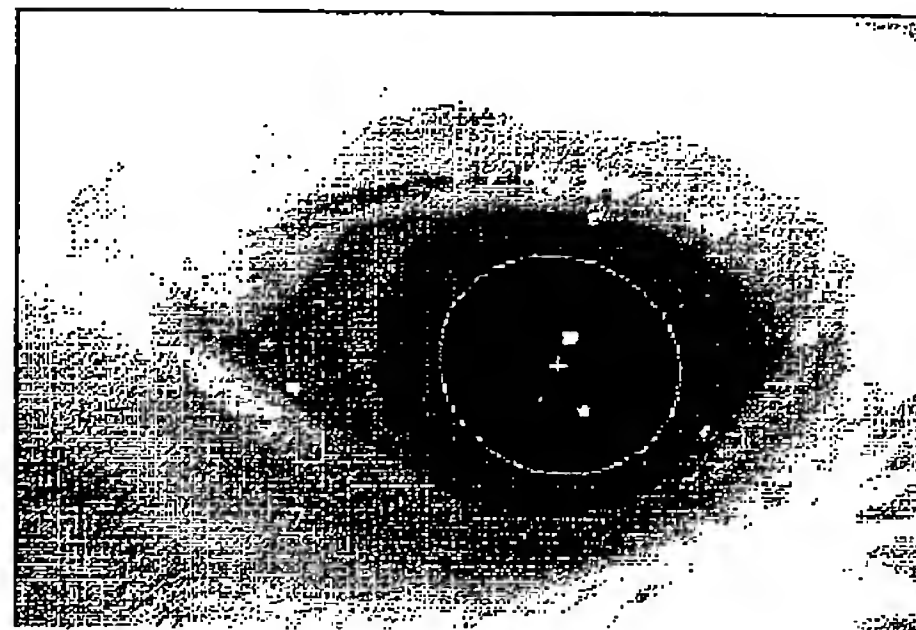
【図11】



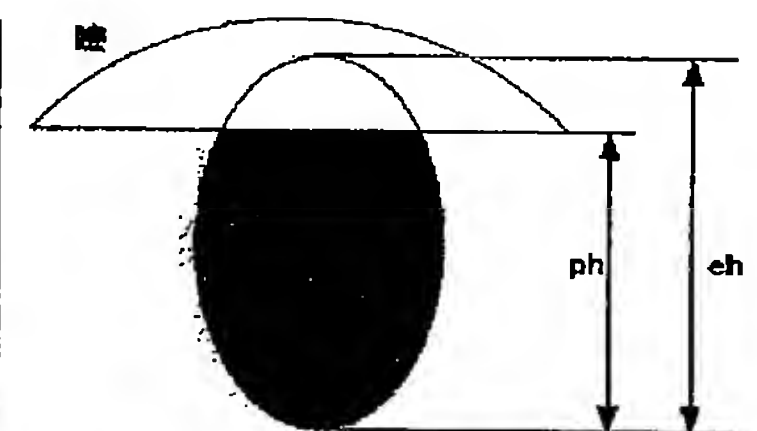
【図12】



【図13】



【図20】

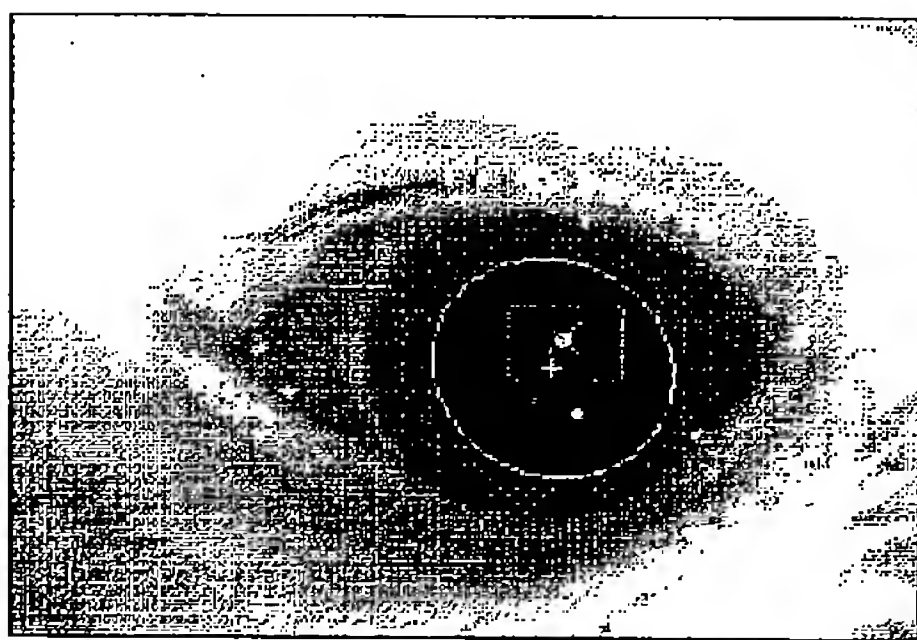


瞳によって瞳孔が隠れた様子

eh: 瞳孔の上下方向の距離

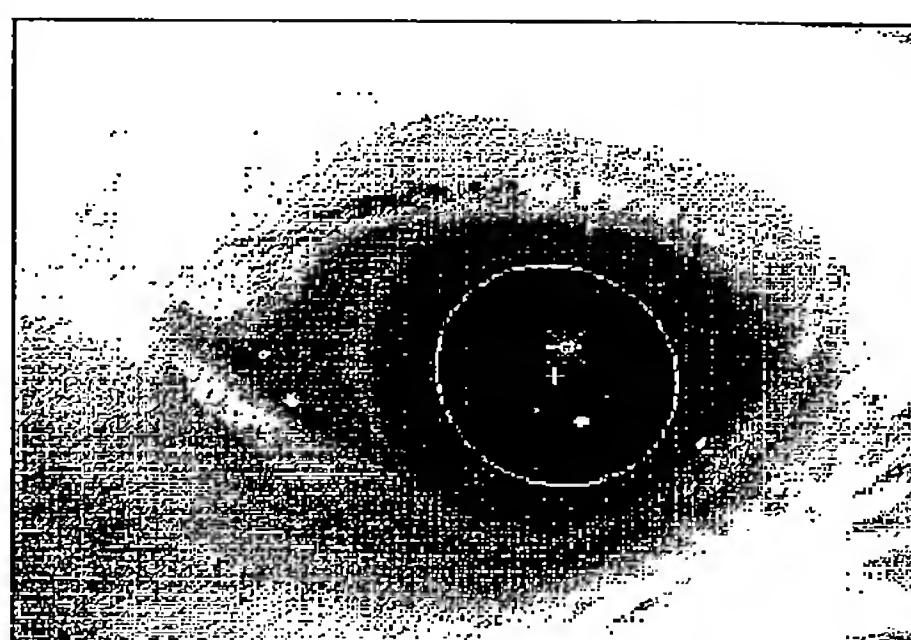
ph: 検出した瞳孔の縁の上下方向の最大値

【図14】

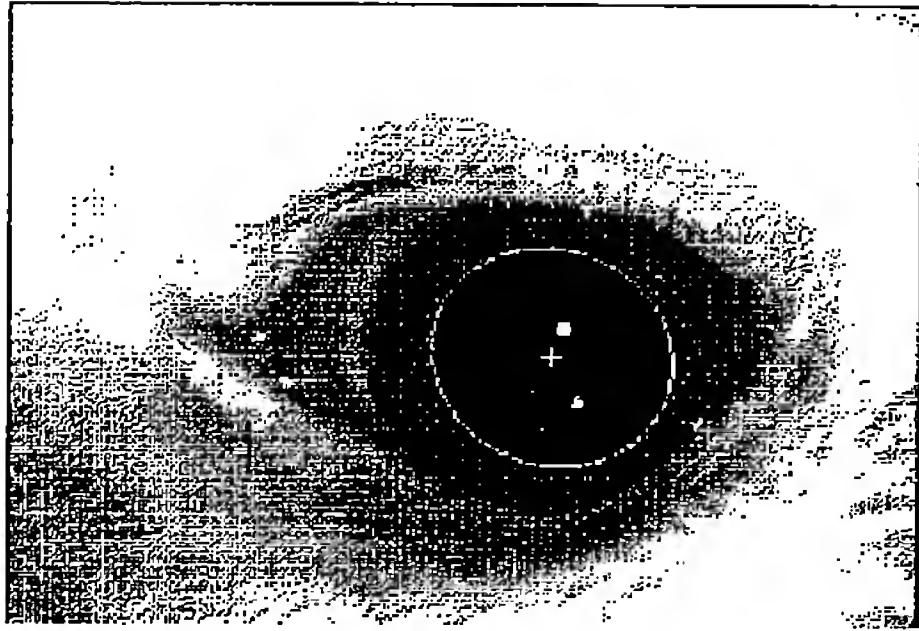


予測地点Xと、それを取り囲む40x30pixelの画像

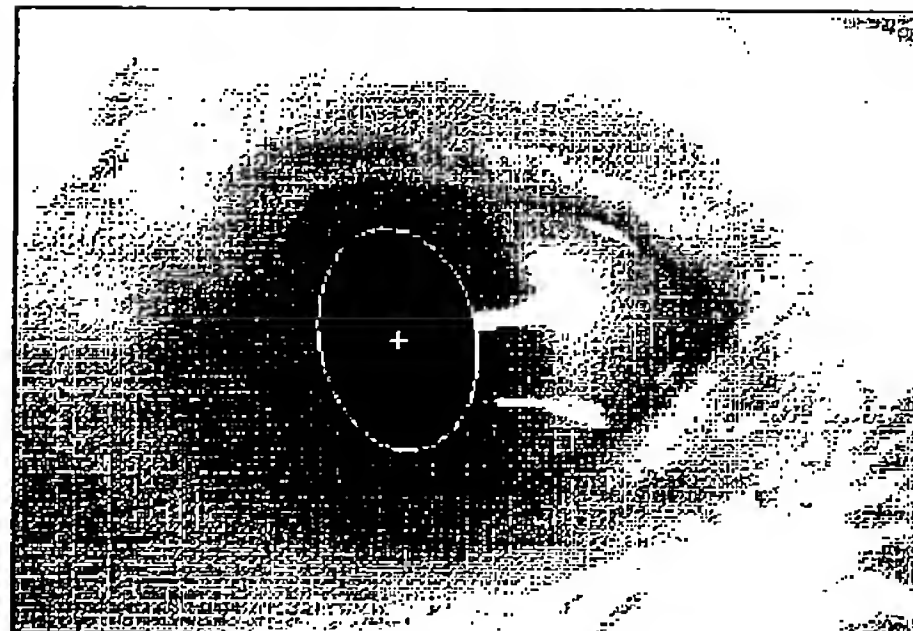
【図15】



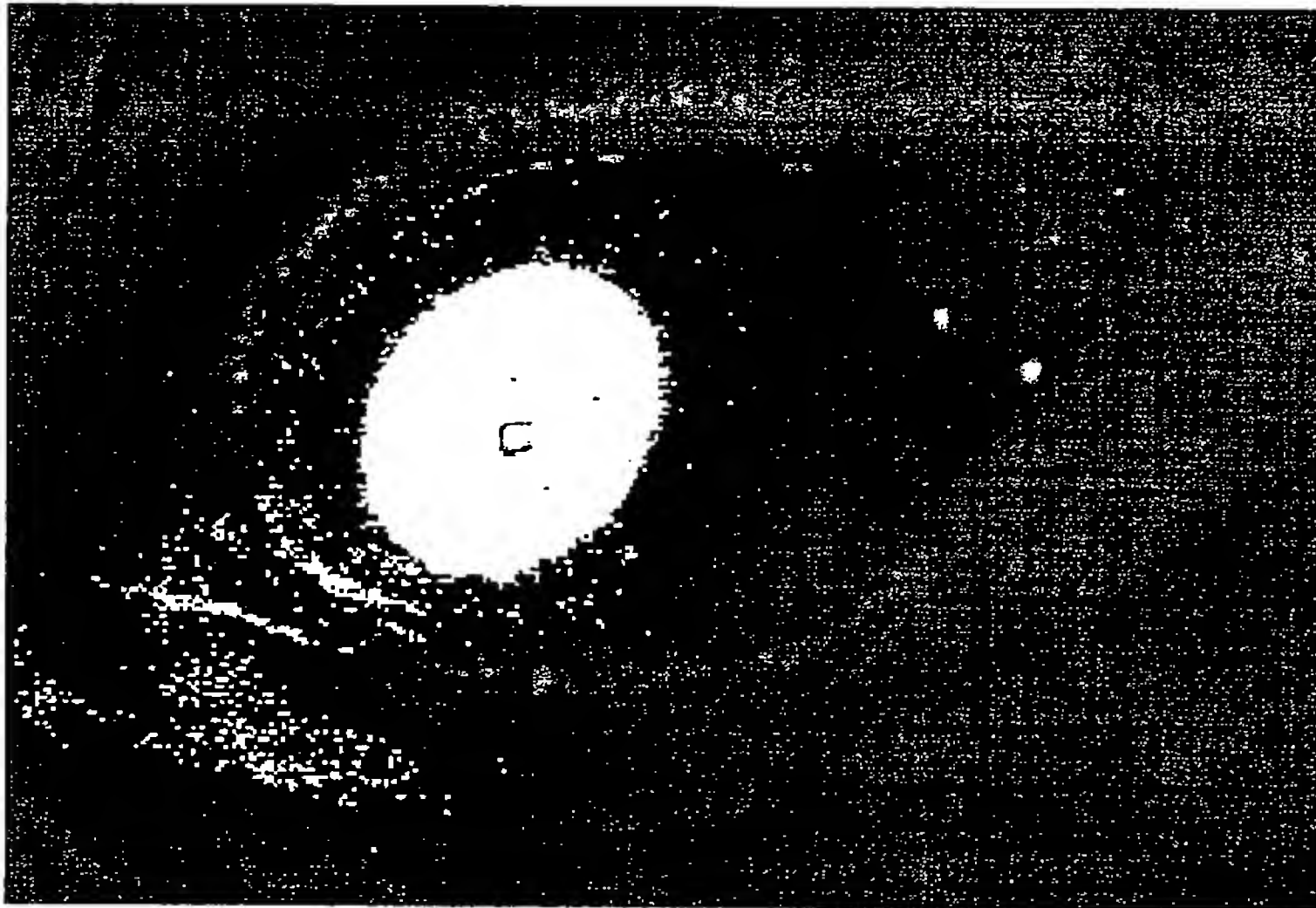
【図16】



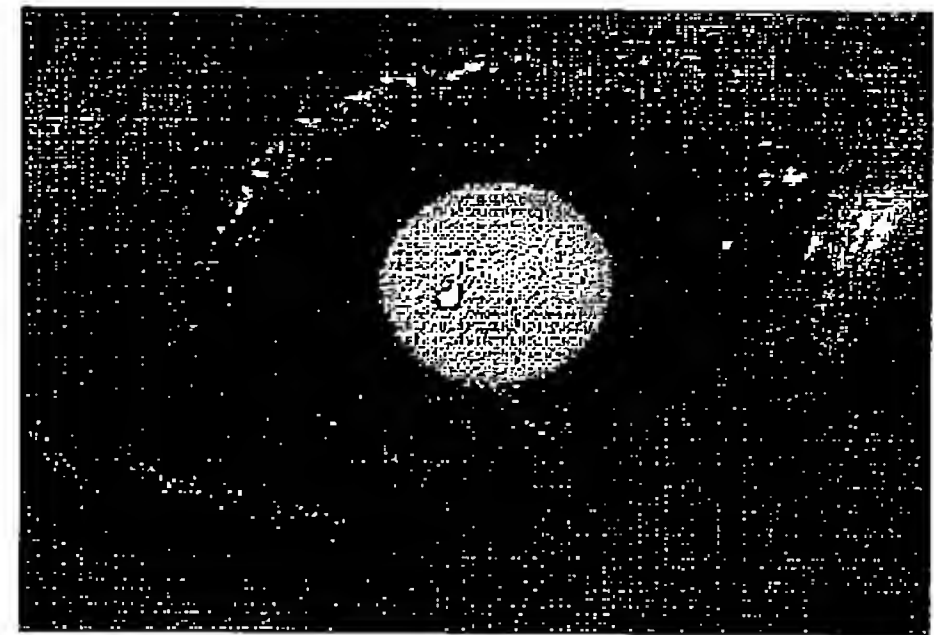
【図17】



【図18】



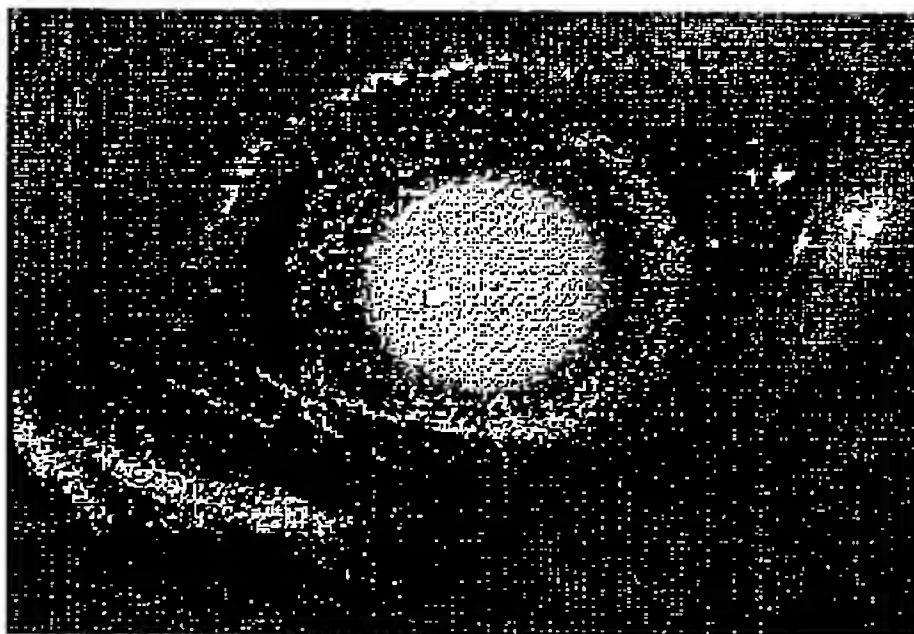
【図21】



比較的ノイズが少ないので、縁検出率70%である。

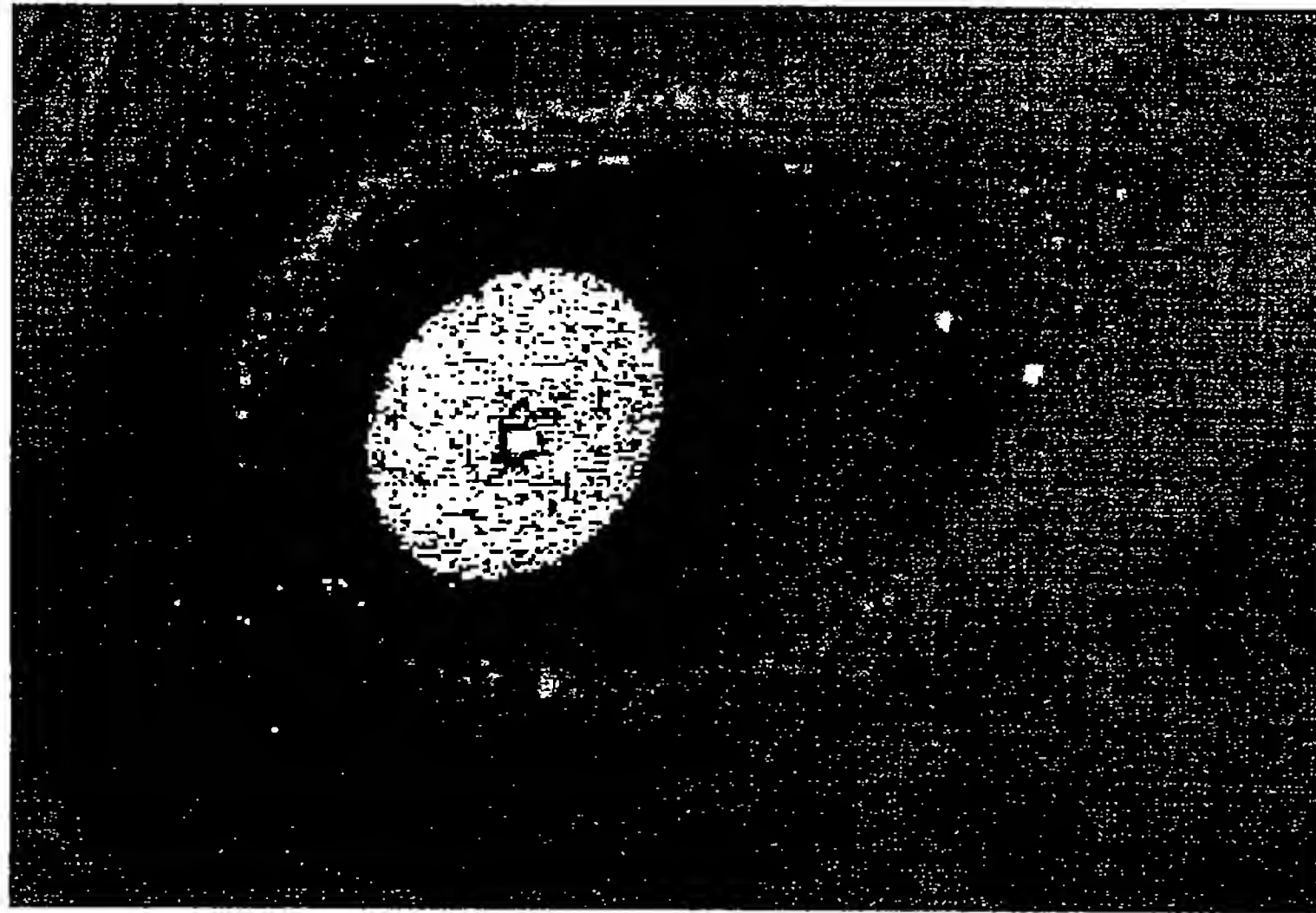
輪郭を検出するのに必要な閾値(th2)の場合は、周辺ノイズが多い。

【図22】



ノイズが多いため、縁検出率は40%である。

【図19】



閾値(th1)を下げることにより、周辺ノイズを低減することができる。

フロントページの続き

(72)発明者 松田 圭司
茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法
人産業技術総合研究所 つくばセンター内
(72)発明者 永見 武司
茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法
人産業技術総合研究所 つくばセンター内

Fターム(参考) 2F065 AA03 AA17 AA46 AA51 BB07
CC16 DD12 EE00 FF27 FF42
GG07 GG21 HH12 JJ03 JJ08
JJ09 JJ26 QQ00 QQ17 QQ21
QQ25 QQ26 QQ28